

九十六年度第一次輻射防護人員測驗試題

輻射防護師級：專業科目

一、 填充題(共三十分，每格二分)

1. 已知 ${}^7_4\text{Be}$ 比 ${}^7_3\text{Li}$ 的能階高 0.862 MeV，試問 ${}^7_4\text{Be}$ 的核衰變之型態為何？

(1) 電子捕獲

2. 請寫出阿伐粒子潛能濃度的英文全名：(2) potential alpha-energy concentration

3. 請寫出人體組織元素氫及氮捕獲中子的重要反應式。

(3)  ${}^1\text{H}(\text{n}, \gamma){}^2\text{H}$  , (4)  ${}^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p}){}^{14}\text{C}$

4.  ${}^{13}\text{N}$  進行  $\beta^+$  蛻變為  ${}^{13}\text{C}$  時，其間之能階差為 2.22MeV，則該蛻變會放出多少 MeV 的動能？ (5) 1.198

5. 體內曝露使用的防護方法為 3D 原則,包括稀釋、分散及 (6) 除污。

6. 在 22°C 及 760 mmHg 條件下校正的游離腔，置於 20°C 及 750 mmHg 的環境下使用，試問溫度及壓力的修正因數( $k_{tp}$ )為多少？(7) 1.006

7. 對於 0.025 eV 的中子，在  ${}^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha){}^7\text{Li}$  反應中，硼的截面是 735 邦。對於 50 eV 的中子，硼的截面為多少邦？ (8) 16.8

8. 輻射防護主張的機率效應之 LNT 意義是： (9) 線性無低限

9. 推定空氣濃度 (DAC) 與年攝入限定 (ALI) 的關係式為(10)

$$\text{DAC} = \frac{\text{ALI}}{2400} \text{ (Bq/m}^3\text{)}$$

10. Po-210 衰變成 Pb-206 的過程釋出的總能量為 5.4 MeV，則其發射之  $\alpha$  粒子動能為多少 MeV？ (11) 5.3

11. 細胞週期分為細胞靜止期( $G_0$ )，DNA 合成準備期( $G_1$ )，合成期(S)，分裂準備期( $G_2$ )和分裂期(M)五期，試問其中那兩個時期對輻射最敏感？  
(12)  $G_2$  和 M 期

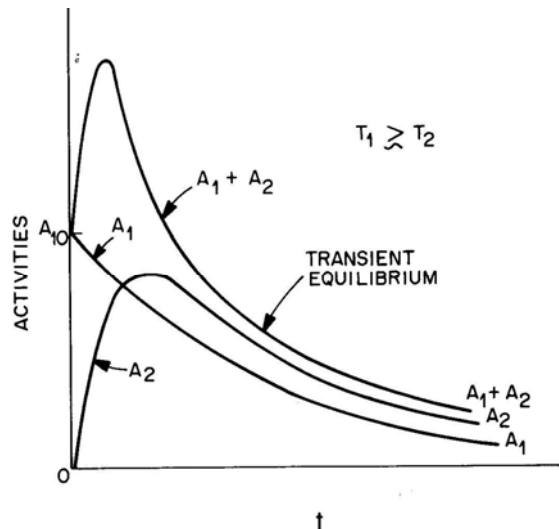
12.  ${}^{232}\text{Th}$  衰變產生的氦子核種之質量數為何？ (13) 220

13. ICRP 針對輻射防護，建議了一套劑量限制系統，其主要特點為  
(14) 正當化、最適化及 (15) 劑量限制。

二、問答與計算題(共七十分，每題十分)

1. 試畫圖說明瞬態平衡(transient equilibrium) 並寫出其構成條件以及平衡時母核及子核的活度關係。

答：



構成條件：母核半衰期稍大於子核半衰期 ( $T_1 \geq T_2$ )

平衡時母核及子核的活度關係：
$$A_2 = \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) A_1$$

2. 一個射源強度為  $3.7 \times 10^8$  Bq 的  $^{90}\text{Y}$  點射源被包裝在鉛( $Z=82$ )的屏蔽體內，鉛屏蔽的厚度足夠吸收該貝他粒子(其最大能量為 2.28 MeV，平均能量為 0.94 MeV)。(制動輻射的產率  $Y \cong \frac{6 \times 10^{-4} ZT}{1 + 6 \times 10^{-4} ZT}$ )

(a) 試估計制動輻射的能量發射率(MeV/s)。

(b) 為了輻射防護目的，假設制動輻射光子的能量均為 2.28 MeV，試估計離射源 1m 處的光子通量率(photon fluencerate)。

答：(a) 制動輻射的產率  $Y \cong \frac{6 \times 10^{-4} ZT}{1 + 6 \times 10^{-4} ZT} = \frac{6 \times 10^{-4} \times 82 \times 2.28}{1 + 6 \times 10^{-4} \times 82 \times 2.28} = 0.1$

制動輻射能量的發射率=

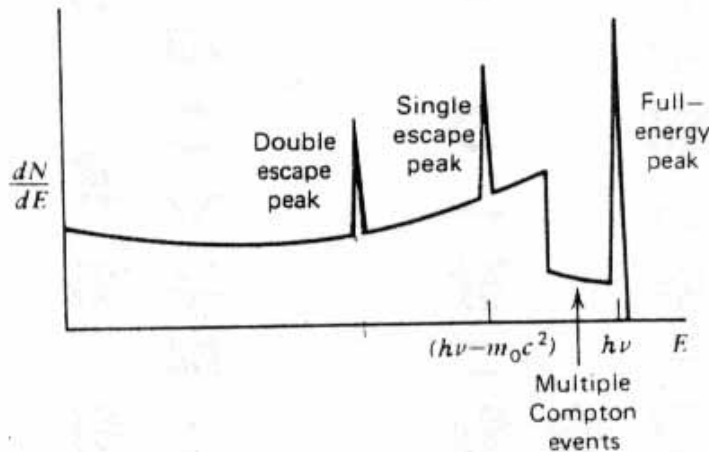
$$3.7 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \times 0.94 \text{ MeV} \times 0.1 = 3.48 \times 10^7 \text{ MeV/s}$$

(b) 1m 處的光子通量率

$$= \frac{3.48 \times 10^7 \text{ MeV/s}}{2.28 \text{ MeV/photon}} \div (4\pi \times 100^2 \text{ cm}^2) = 121 \text{ photon/cm}^2 \cdot \text{s}$$

3. 請畫出能量大於 1.022 MeV 的光子與中尺寸的偵檢器作用之能譜圖。

答：



4. 請針對高氧狀態、硫氫化合物及維生素等化學因素，探討其對輻射生物效應的影響。

答：

- (1) 在高氧狀態下，細胞較易受到傷害。細胞內的分子受到輻射作用所產生的自由基，在氧的存在下易生成過氧化物自由基( $\text{RO}_2$ )，使細胞無法進行修補作用以恢復原來的功能，造成較大的輻射傷害。
- (2) 硫氫化合物的作用：硫氫化合物可以消耗細胞中因輻射所誘發的自由基，或與氧作用減少細胞中的氧含量而減少輻射傷害。
- (3) 維生素對輻射亦有防護作用：如維生素 C 可以還原自由基而減少傷害。

5. 設有一光子傳遞 500 keV 之能量予 NaI 晶體，NaI 晶體之閃爍效率為 12%，且產生出每個可見光之光子能量約為 3eV。產生之可見光進入光電倍增管(PMT)的比例約為 75%，PMT 光陰極的光電轉換效率約為 20%。試問此 NaI 偵檢器之能量解析度(energy resolution)約為多少%？

答：NaI 產生可見光之光子數目 =  $\frac{500 \times 10^3 \text{ eV} \times 12\%}{3 \text{ eV}} = 20000$

進入 PMT 的可見光數目 =  $20000 \times 75\% = 15000$

PMT 光陰極產生之光電子數目 =  $15000 \times 20\% = 3000$

此 NaI 偵檢器之解析度：

$$R = \frac{FWHM}{H_0} = \frac{2.35\sigma}{H_0} = \frac{2.35 \times \sqrt{3000}}{3000} = 4.3\%$$

6. 請寫出光子與物質作用最主要之三種效應的質量衰減係數(mass attenuation coefficient)與光子能量( $h\nu$ )及物質原子序數( $Z$ )的關係。

答：

光子與物質作用最主要之三種機制為光電效應、康普吞效應及成對發生效應。

光電截面隨光子能量的變化情形近似於  $\frac{1}{h\nu^3}$ ，質量衰減係數隨原子序數

的變化情形為：對於高原子序物質為近似於  $Z^3$ ，而對低原子序物質則接近  $Z^{3.8}$ 。

$$\frac{\sigma_{pe}}{\rho} \propto \frac{Z^{3-3.8}}{h\nu^3}$$

康普吞作用的截面隨光子能量的上升而下降，質量衰減係數和原子序數幾乎無關。

$$\frac{\sigma_{compton}}{\rho} \propto \frac{1}{h\nu}$$

成對發生效應的低限能量為 1.022 MeV，當能量超過低限能量時，此過程發生的機率隨光子能量的增加而上升，每一原子的係數約隨  $Z^2$  而變，質量衰減係數幾乎依  $Z^1$  而定。

$$\frac{c_{pair}}{\rho} \propto h\nu \cdot Z$$

7. 請說明質能轉移係數(mass energy transfer coefficient)  $\mu_{tr}/\rho$  及質能吸收係數(mass energy absorption coefficient)  $\mu_{en}/\rho$  之意義及單位，又二者間之有何關聯？

答：質能轉移係數  $\mu_{tr}/\rho$ ：

不帶電的游離粒子穿過物質時，和物質中原子（核或電子）發生相互作用，把能量的一部分轉移給二次帶電粒子，轉移給帶電粒子的能量佔總入射能量的分數，即為質能轉移係數的含意。質能轉移係數的單位： $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ； $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

質能吸收係數  $\mu_{en}/\rho$

由不帶電游離粒子轉移給二次帶電粒子的動能，其中有一部分可能轉變為制動輻射，有一部分則真正被物質所吸收。質能吸收係數就是扣除了制動輻射損失的能量後，真正被物質吸收的那部分能量所佔總入射能量的分數。質能吸收係數的單位： $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ； $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

二者之間的關聯：

某物質對不帶電粒子的質能吸收係數  $\mu_{en}/\rho$  是質能轉移係數  $\mu_{tr}/\rho$  和

$(1-g)$  的乘積，即  $\mu_{en}/\rho = (1-g) \cdot \mu_{tr}/\rho$  其中， $g$  是二次帶電粒子在物質中發生制動輻射而損失能量的分數。